

57
#6
12-3-01

PEARNE & GORDON LLP
526 Superior Avenue East
Suite 1200
Cleveland Ohio 44114-1484
(216) 579-1700

PATENT

1c903 U.S. PTO
09/022942
03/30/01

Attorney Docket No. 33463

Assistant Commissioner for Patents
Box PATENT APPLICATION
Washington, D.C. 20231

Sir/Madam:

Transmitted herewith for filing by other than a small entity is the patent application of:

Inventor: Yoshiaki Takahashi and Yuuiti Murai

For: FRICTION-REDUCING SHIP AND METHOD FOR
REDUCING SKIN FRICTION

20 sheets of informal drawings are included.

An assignment of the invention to Ishikawajima-Harima Heavy Industries Co., Ltd., will be forwarded.

Priority is claimed under 35 U.S.C. §119 on the basis of the following foreign applications:

Japanese Patent Application No. 2000-101069 filed April 3, 2000;
Japanese Patent Application No. 2000-163612 filed May 31, 2000;
Japanese Patent Application No. 2000-182283 filed June 16, 2000;
Japanese Patent Application No. 2000-188297 filed June 22, 2000; and
Japanese Patent Application No. 2000-202844 filed July 4, 2000.

Certified copies of these applications are enclosed.

"Express Mail" mailing label number EL595432339US

Date of Deposit 3/30/01

I hereby certify that this paper or fee is being deposited with the United States Postal Service "Express Mail Post Office to Addressee" service under 37 C.F.R. § 1.10 on the date indicated above and is addressed to the Assistant Commissioner for Patents, Washington, D.C. 20231.

Janet Morrison

Printed Name of Person Mailing Paper or Fee

Janet Morrison

Signature of Person Mailing Paper or Fee

CLAIMS AS FILED

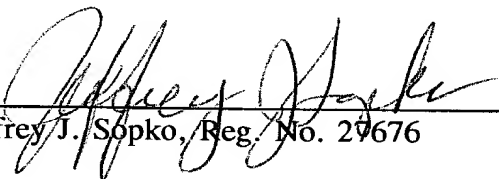
<u>For</u>	<u>Number</u>	<u>Rate</u>	<u>Fees</u>	
Total claims in excess of 20:	1	×	\$18.00	\$18.00
Independent claims in excess of 3:	0	×	\$82.00	\$0.00
Multiple dependent claims, if any, add surcharge of \$270.00:				\$0.00
Non English Specification, add surcharge of \$130.00:				\$130.00
			Basic Fee	\$710.00
			TOTAL FILING FEE	\$858.00
Assignment Recordal Fee of \$40.00				\$0.00
			TOTAL FEE	\$858.00

A check in the amount of the Total Fee calculated above is enclosed.

The Commissioner is hereby authorized to charge any fees under 37 C.F.R. §§1.16 and 1.17 which may be required during the entire pendency of this application, or to credit any overpayment, to Deposit Account No. 16-0820, Order No. 33463.

Respectfully,

PEARNE & GORDON LLP



Jeffrey J. Sopko, Reg. No. 29676

Date: 3/30/01

日本国特許庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

1c903 U.S. PTO
09/822942
03/30/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されて
いる事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed
with this Office.

出願年月日
Date of Application:

2000年 4月 3日

出願番号
Application Number:

特願2000-101069

出願人
Applicant(s):

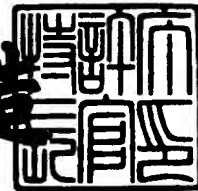
石川島播磨重工業株式会社

BEST AVAILABLE COPY

2001年 2月23日

特許庁長官
Commissioner,
Patent Office

及川耕造



出証番号 出証特2001-3011139

【書類名】 特許願

【整理番号】 J81311A1

【提出日】 平成12年 4月 3日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 G05F 7/00
F15D 1/00
F63D 1/34

【発明の名称】 船体の摩擦抵抗低減方法及び摩擦抵抗低減船

【請求項の数】 4

【発明者】
【住所又は居所】 福井県福井市引目町 1-1-3 清明宿舍 1-36
【氏名】 村井 祐一

【発明者】
【住所又は居所】 東京都江東区豊洲二丁目 1 番 1 号 石川島播磨重工業株式会社 東京第一工場内
【氏名】 高橋 義明

【特許出願人】
【識別番号】 000000099
【氏名又は名称】 石川島播磨重工業株式会社

【代理人】
【識別番号】 100064908
【弁理士】
【氏名又は名称】 志賀 正武

【選任した代理人】
【識別番号】 100089037
【弁理士】
【氏名又は名称】 渡邊 隆

【手数料の表示】
【予納台帳番号】 008707

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9001603

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 船体の摩擦抵抗低減方法及び摩擦抵抗低減船

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する方法であって、

船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、局所的に渦度が大きい水の流れを形成することを特徴とする船体の摩擦抵抗低減方法。

【請求項 2】 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船であって、

気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するための負圧形成部と、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くための流体通路と、

局所的に渦度が大きい水の流れを形成する離脱促進部とを備えることを特徴とする摩擦抵抗低減船。

【請求項 3】 前記負圧形成部は、船体の没水表面から水中に向かって突出して配される翼と、該翼を支持するストラットと、前記翼に対して船体側に配される流水案内体とを備えることを特徴とする請求項 2 に記載の摩擦抵抗低減船。

【請求項 4】 前記離脱促進部は、船体側に凸となるように形成された前記翼と、該翼形状に沿うように形成された前記流水案内体とにより形成されることを特徴とする請求項 3 に記載の摩擦抵抗低減船。

【発明の詳細な説明】

【0 0 0 1】

【発明の属する技術分野】

本発明は、船体の摩擦抵抗を低減する方法及び摩擦抵抗低減船に係り、特に、水中に気泡を効率よく放出することにより、総合エネルギー効率を向上させるものである。

【0 0 0 2】

【従来の技術】

従来より、船舶等の航行時のエネルギー消費を節減することを目的として、水中

に気体を送り込み、船体外板の表面（没水表面）の近傍に多数の気泡を介在させて、船体と水との摩擦抵抗を低減する方法が提案されている。

【 0 0 0 3 】

水中に気泡を発生させる技術としては、特開昭 5 0 - 8 3 9 9 2 号、特開昭 5 3 - 1 3 6 2 8 9 号、特開昭 6 0 - 1 3 9 5 8 6 号、特開昭 6 1 - 7 1 2 9 0 号、実開昭 6 1 - 3 9 6 9 1 号、実開昭 6 1 - 1 2 8 1 8 5 号が提案されている。

【 0 0 0 4 】

これらの技術では、水中に気泡を発生させる方法として、ポンプやブローなどの装置によって加圧した気体を船体に設けられた複数の孔や多孔板から水中に噴出している。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、加圧した気体を水中に噴出する方法であると、加圧用の装置を稼動するエネルギーが必要となり、摩擦抵抗の低減によって減少したエネルギーの節約分が目減りしてしまう。特に、大型船の船底など、比較的水深の大きい箇所において水中に気体を噴出する際には、水压（静水压）に対応して高い圧力に気体を加圧する必要がある、多大なエネルギーを消費してしまう。また、加圧用の装置を船体に設置するにあたり、設備コストや施工コストなど多大なコストが生じてしまう。

【 0 0 0 6 】

本発明は、このような事情に鑑みてなされたものであり、以下の点を目的とするものである。

（１）少ないエネルギー消費で摩擦抵抗低減を行って、航行時のエネルギー消費を効果的に節減すること。

（２）水中に気泡を効率よく混入させ、効果的な摩擦抵抗低減を実施すること。

（３）船体の建造コストを低減すること。

【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】

上記課題を解決するため、請求項 1 に係る発明は、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する方法であって、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、局所的に渦度が大きい水の流れを形成する技術が採用される。

請求項 2 に係る発明は、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船であって、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するための負圧形成部と、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くための流体通路と、局所的に渦度が大きい水の流れを形成する離脱促進部とを備える技術が採用される。

また、請求項 3 に係る発明は、請求項 2 に記載の摩擦抵抗低減船において、前記負圧形成部は、船体の没水表面から水中に向かって突出して配される翼と、該翼を支持するストラットと、前記翼に対して船体側に配される流水案内体とを備える技術が採用される。

また、請求項 4 に係る発明は、請求項 3 に記載の摩擦抵抗低減船において、前記離脱促進部は、船体側に凸となるように形成された前記翼と、該翼形状に沿うように形成された前記流水案内体とにより形成される技術が採用される。

【 0 0 0 8 】

【作用】

一般に、流体はその周囲に圧力勾配が生じると、高圧側から低圧側に向けて力（圧力勾配力）を受け、流動が誘起される。したがって、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間の気体を水中の負圧箇所に導くことにより、圧力勾配力を利用して、所定の深さの水中に気体を送り込むことが可能となる。

【 0 0 0 9 】

図 2 は、水中に負圧箇所を形成するための負圧形成部を備えた摩擦抵抗低減船を模式的に示している。船体 1 が所定の船速 V_s で航行すると、船体 1 に対して相対的な水の流れ 2 が形成される。このとき、例えば負圧形成部 3 によって水の流路が狭められると、水の流速が大きくなり、局所的に静水圧 P_{wa} が下がる（ベルヌーイの定理）。このとき、水の流速を V_{wa} 、気体空間の圧力（大気圧）

を P_a 、水の密度を ρ 、重力加速度を g 、水深を H_{wa} とすると、静水圧 P_{wa} は、

$$P_{wa} = P_a + \rho \cdot g \cdot H_{wa} - \rho \cdot (V_{wa}^2 - V_s^2) / 2 \quad (1)$$

で表される。この式 (1) から明らかなように、水の流速 V_{wa} が次式を満たすことにより、水中に大気圧 P_a に比べて低圧となる負圧箇所 4 が形成される。

$$\rho \cdot g \cdot H_{wa} - (V_{wa}^2 - V_s^2) / 2 < 0 \quad (2)$$

【0010】

負圧箇所 4 が形成されると、圧力勾配力により、気体が流体通路 5 内を流動し、水中に送り込まれる。

【0011】

負圧箇所 4 を形成して水中に気体を送り込む場合（負圧方式）、気体を加圧する必要がないため、従来の加圧方式に比べ、水中に気体を送り込むときに消費されるエネルギーが少ない。

【0012】

また、水中に送り込まれた気体を気泡 6 として水に混入させ、多数の気泡 6 を船体 1 の没水表面に介在させることにより、船体の摩擦抵抗が低減される。

【0013】

ところで、水中の気泡 6 には、水の流れにより様々な力が作用する。その力の一例を表 1 に示す。

【0014】

【表 1】

力の成分	力の大きさが比例する因子
抗力(粘性力)	速度の2乗、面積
圧力勾配力	面積
揚力	渦度、速度
浮力	体積
体積変化力	体積
付加慣性力	加速度
表面張力	半径の-1乗

【0 0 1 5】

例えば図 2 に示すように、負圧形成部 3 が船底から突出して形成されている場合、流体通路 5 内を流動した気体は、気体と液体（水）との境界面 7（気液界面）に到達した後、負圧箇所 4 による圧力勾配力と、次に説明する揚力との作用を受けて気泡 6 として水中に移動し、その後、抗力（粘性力）により水に乗って流れると考えられる。

【0 0 1 6】

揚力（Lift Force）は、気泡 6 の周囲の水の流れ 2 が渦度を有するときに生じるものであり、その力の方向は、渦度ベクトル（Vorticity Vector of Liquid）

ω と気液相対速度ベクトル（Relative Velocity Vector） u_s との外積によって得られるベクトルの逆方向である。また、その大きさは気泡の体積 A_v と液体の密度 ρ とに比例する。すなわち揚力 L_f は、次式によって表される。

$$L_f = -\rho \cdot A_v \cdot (u_s \times \omega) \quad (3)$$

ただし、これは Auton の慣性揚力であり、低レイノルズ数時には Saffman の揚力が作用し、渦度の $1/2$ 乗に比例するようになる。なお、両者とも作用方向は同じである。

【0 0 1 7】

船底の境界層には、一般に、渦度を有する流れが船体外板の表面近傍に集中しており、上述した各ベクトルは図 3 に示す向きとなる。この図 3 から分かるよう

に、船底における揚力 L_f は、船体外板から離れる方向、すなわち気液界面 7 から水中に気泡 6 が離脱する方向に作用する。

【0018】

ところが、負圧形成部の形状によっては、気泡に対して、気液界面に押し戻す方向に比較的大きな力（抵抗力）が作用することがある。

【0019】

例えば、図 2 に示す負圧形成部 3 に沿って水が流れる場合、水中の気泡 6 に対する抵抗力として、次に説明する付加慣性力と圧力勾配力とが作用する。

【0020】

付加慣性力は、液体（水）中に置かれた気泡の付加質量による慣性力であり、気液の密度差を $1/800$ とすると、気泡内の気体質量自体に作用する慣性力に比べて 400 倍の大きさとなる。また、水の慣性力と比べたとき、気泡の慣性力 + 付加慣性力は、 $1/2$ の大きさである。このことから、同じ外力が作用したとき、気泡は水の $1 + 1 / (1/2) = 3$ 倍の加速度を生じることになる（ただし、抗力を無視したときの最大値）。

【0021】

すなわち、図 4 に示すように、湾曲した物体表面 8 に沿って水及び気泡 6 が流れる場合、凹部である箇所 PA1 で水の流れ 2 が下向きに変わるとき、気泡 6 は水の 3 倍の加速度で下降する。また、凸部である箇所 PA2 で水の流れ 2 が上向きに変わるとき、気泡 6 は水の 3 倍の加速度で上昇する。

【0022】

したがって、前述した図 2 の負圧形成部 3 に沿って水が流れる場合、負圧形成部 3 の頂部の曲率（凸部）により、負圧箇所 4 において水の流れ 2 が上向きに変わるのに伴い、気泡 6 に対して、気液界面 7 に押し戻す方向に付加慣性力が作用する。

【0023】

また、この図 2 の場合、負圧箇所 4 が水中の他の箇所に比べて低圧であることから、負圧箇所 4 に位置する気泡 6 に対して、気液界面 7 に押し戻す方向に圧力勾配力が作用する。

【 0 0 2 4 】

そして、このような気液界面に押し戻す方向の力（抵抗力）が、気泡に対して大きく作用すると、気液界面から水中に気泡が離脱しにくくなり、水に混入される気泡の量が抑制されて、船体の摩擦抵抗が効果的に低減しなくなる恐れがある。

【 0 0 2 5 】

そこで、気液界面から水中に気泡が移動するように水の流れを形成して、気泡の離脱に対して抵抗となる力を小さくすることにより、気液界面から気泡が容易に離脱し、水に混入される気泡の量が増える。

【 0 0 2 6 】

すなわち、局所的に渦度が大きい水の流れを形成することにより、気泡に対して、揚力が離脱方向に作用するようになり、気液界面からの気泡の離脱が促進される。

【 0 0 2 7 】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る船体の摩擦抵抗低減方法及び摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について、図面を参照して説明する。図 5 において、符号 M は摩擦抵抗低減船、1 0 は船体、1 1 は気泡発生装置、1 2 は船体外板（没水表面）、1 3 は推進器、1 4 は舵、1 5 は水面（喫水線）を示している。

【 0 0 2 8 】

前記摩擦抵抗低減船 M としての肥大船は、例えば V L C C（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線 1 5 下の船体外板 1 2（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。さらに、船体 1 0 の前方に、気泡発生装置 1 1 が配されている。

【 0 0 2 9 】

前記気泡発生装置 1 1 は、図 5（b）に示すように、船体 1 0 の没水表面 1 2 に配される負圧形成部 2 0 と、船体 1 0 を貫通しかつ喫水線 1 5 の上下において

内部空間が開放される流体通路 2 1 とを備えている。

【 0 0 3 0 】

前記負圧形成部 2 0 は、航行時における船体 1 0 に対する相対的な水の流れを利用して、所定の船速 V_s において気体空間（大気）に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するためのものである。ここでは、負圧形成部 2 0 は、後述するように気液界面からの気泡の離脱を促進する離脱促進部としての機能も有しており、船底における水の相対速度を特定箇所で大きくするとともに、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した水の流れを形成するように構成されている。

【 0 0 3 1 】

この負圧形成部 2 0 の詳細について説明すると、負圧形成部 2 0 は、図 6 に示すように、船体の没水表面から水中に向かって突出して配されるとともに、没水表面 1 2 に対して所定の間隔で略平行に配される翼 3 0 と、翼 3 0 を支持するために翼 3 0 と船体外板 1 2 との間に配されるストラット 3 1, 3 2 と、翼 3 0 に対して船体側（本実施形態では船体内側）に配される流水案内体 3 3 とを備えている。

【 0 0 3 2 】

前記翼 3 0 の形状は、NACA 翼型、オジバル翼型など様々な翼型が適用可能であり、船体の形状及び船速に応じて定められる。ここでは、翼 3 0 は船体側に凸となるように形成される。また、翼 3 0 は、前縁 3 0 a 及び後縁 3 0 b を船体の進行方向 Dve に向け、翼面 3 0 c, 3 0 d を上下方向に向け、さらに、航行時において翼 3 0 に対して揚力が上向きに作用する（航行時において、上方を臨む翼面 3 0 c 側の流速が下方を臨む翼面 3 0 d 側の流速に比べて大きくなる）ように配置されている。

【 0 0 3 3 】

前記ストラット 3 1, 3 2 は、水平断面形状が水の流れに対して抵抗が少ない例えば翼型などの形状であり、前記翼 3 0 と没水表面 1 2 との間隔を規定するために所定の高さ H_{st} で形成されている。さらに、一方の端面が船体外板 1 2 に当接され他方の端面が翼 3 0 に当接されて取り付けられる。

【 0 0 3 4 】

前記流水案内体 3 3 は、航行中における水の流れを曲線状（湾曲状）に案内するためのものであり、一面が開放されたボックス状に構成され、船体外板 1 2 に設けられた開口 1 2 a を船体 1 0 の内側から覆うように、開放端 3 3 a を船体外板 1 2 に当接状態に固定される。また、流水案内体 3 3 は、翼 3 0 の形状に沿うように形成されており、船体 1 0 の幅方向（水平面内で船体 1 0 の進行方向 Dve に略垂直な方向）に平行かつ船体外板 1 2 からの高さが船体 1 0 の進行方向 Dve に沿って凸状に変化する（すなわち、鉛直方向上向きに凸状に湾曲する）湾曲面 3 3 b を有している。さらに、この湾曲面 3 3 b の中央付近において、貫通孔からなる排出口 3 3 c が設けられている。

【 0 0 3 5 】

これらにより、負圧形成部 2 0 には、図 5（b）に示すように、船体の進行方向 Dve に沿って、離脱促進部として、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した水路 3 4 が形成される。

【 0 0 3 6 】

また、負圧形成部 2 0 の各構成部材の形状や配置位置は、航行時に負圧形成部 2 0 における水の流れが所望の状態になるように、数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）による流場解析によって設計されている。ここでは、所定の船速 V_s での航行時において、負圧形成部 2 0 付近における水の流れが、次の（a）～（d）の条件を満たすように定められる。

- ・条件（a）：水路 3 4 における水の流速（絶対値）が船速 V_s に比べて大きくなり、かつ、水路 3 4 の中央部 3 4 b（図 5（b）参照）における平均流速 V_{wa} が前述した式（2）を満たす（このとき、式（2）における ρ は海水の密度、 H_{wa} は喫水線から水路 3 4 までの距離（水深）とすること）。
- ・条件（b）：流水案内体 3 3 の排出口 3 3 c 近傍に比べて翼面 3 0 c 近傍の水の流速が大きくなること。
- ・条件（c）：排出口 3 3 c から下降する水の流れを有すること。
- ・条件（d）：水路における水の流れに局所的に大きな渦度を有すること。

【 0 0 3 7 】

上述した条件（a）を満たすために、負圧形成部 2 0 の各構成部材の形状や配

置位置は、例えば、水路 3 4 の入り口における流路断面積に比べて内部（前部 3 4 a、中央部 3 4 b、後部 3 4 c）の流路断面積が狭く、さらに、前部 3 4 a 及び後部 3 4 c に比べて中央部 3 4 b の流路断面積が狭くなるように定められる。

また、上述した条件（b）を満たすために、例えば、流水案内体 3 3 の湾曲面 3 3 b に比べて翼面 3 0 c の全体的な曲率が小さくなる（曲率半径が大きくなる）ように定められる。

また、上述した条件（c）を満たすために、例えば、排出口 3 3 c 近傍の湾曲面 3 3 b に上向きに凸となるような曲面を有するように定められる。

また、上述した条件（d）を満たすために、例えば、水路 3 4 の流路断面積や形状が局所的に変化するように定められる。

【 0 0 3 8 】

一方、前記流体通路 2 1 は、前記負圧形成部 2 0 における流水案内体 3 3 に接続される気体導入管 3 5 の内部空間 3 6 からなっている。すなわち、流体通路 2 1 は、一端が気体導入管 3 5 の空気取入れ口 3 7 を介して気体空間（大気中）に開放されるとともに、他端が前記流水案内体 3 3 の排出口 3 3 c を介して水中に開放されるようになっている。

【 0 0 3 9 】

前記気体導入管（A I P : Air Induction Pipe） 3 5 は、船体 1 0 に貫通状態に、かつ負圧形成部 2 0 における流水案内体 3 3 に接続状態に敷設され、少ない圧力損失で所望の流量の流体が流動するように、その内部の断面積や形状が定められている。また、空気取入れ口 3 7 は、船体 1 0 における甲板の前部に配される。

【 0 0 4 0 】

なお、負圧形成部 2 0 及び気体導入管 3 5 の材質としては、例えば耐食処理された金属、あるいは樹脂など、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。

【 0 0 4 1 】

また、負圧形成部 2 0 は、船底の広さに応じて 1 つまたは複数配置され、これに応じて気体導入管 3 5 の配設状態が定められる。

【 0 0 4 2 】

このように構成される摩擦抵抗低減船Mによる船体の摩擦抵抗低減方法について、図1を参照して以下説明する。

停船状態においては、流体通路21内に、船体10の周囲とほぼ同じ水位まで水（海水）が入り込んでいる。推進器13（図5参照）の推力により船体10が航行状態になると、図1（a）に示すように、船体10に対して相対的な水の流れ40が形成される。

【 0 0 4 3 】

航行状態において、船底では、負圧形成部20の翼30に沿って水が流れ、湾曲した水路34においてその流路が狭められることにより、水路34を流れる水の流速が大きくなり、静水圧が局所的に低下する。

【 0 0 4 4 】

そして、船体10の航行速度が所定の船速 V_s （例えば標準航行速度）に達すると、水路34の中央部34bにおいて、大気に対して低圧となる負圧箇所41が形成される（条件（a）より）。

【 0 0 4 5 】

この場合にあって、空気取入れ口37における圧力に比べ、負圧箇所41に面した排出口33c付近の圧力が低いために、流体通路21内の流体（海水及び空気）に対して圧力勾配力 P_{f1} が作用し、流体通路21から海水が排出された後、空気取入れ口37から流入した空気が、流体通路21を流動して水中に送り込まれる。

【 0 0 4 6 】

そして、水中に送り込まれた気体が気泡42として水に混入し、船体10の没水表面12の近傍に多数の気泡42が介在することにより、船体10の摩擦抵抗が低減される。

【 0 0 4 7 】

水中に空気を送り込むために必要なエネルギーは、主として気体の位置を変化させるためのエネルギーである。このエネルギーは、負圧形成部20により水の流動状態を変化させることで得られるものであり、気体を加圧して水中に噴出する場合

に消費されるエネルギーに比べて少ない。そのため、船体 1 0 の摩擦抵抗低減により、航行時のエネルギー消費が効果的に低減される。

【 0 0 4 8 】

さらに、負圧箇所 4 1 の形成には、負圧形成部 2 0 の形状やレイノルズ数が主な支配因子となり、水深による不利が生じにくいと考えられるため、本発明に係る技術は、大型船への適用にも有利である。

【 0 0 4 9 】

また、気泡発生装置 1 1 は簡素な構成であり、気体を加圧するための装置が不要であることから、船体 1 0 の建造コストが少なく済むことはいうまでもない。

【 0 0 5 0 】

この場合にあつて、図 1 (b) に示すように、水路 3 4 により、上向きに凸となる湾曲した流れが形成されるために、排出口 3 3 c を通過した水は気液界面 4 3 から離れる方向に流れの向きを変えて下降する (条件 (c) より) 。このとき、気泡 4 2 は水よりも大きな加速度で排出口 3 3 c から離れる運動をする。すなわち、気液界面 4 3 から気泡 4 2 が離脱する方向 (離脱方向) に、気泡 4 2 に対して付加質量による慣性力 (付加慣性力) が作用する。

【 0 0 5 1 】

さらに、水路 3 4 における翼面 3 0 c 近傍を流れる水の流速が、流水案内体 3 3 の排出口 3 3 c 近傍の水の流速に比べて大きい (条件 (b) より) ために、水中の負圧箇所 4 1 における圧力が気液界面 4 3 から水中に向かって低くなる。そのため、気泡 4 2 に対して、離脱方向に圧力勾配力 $P f 2$ が作用する。

【 0 0 5 2 】

また、水路 3 4 の流路断面積 (およびその形状) が局部ごとに変化するために、水路 3 4 の水の流れ 4 0 は局所的に大きな渦度を有する (条件 (d) より) 。このとき、水の流れ 4 0 は、流線の曲がりが大きい水路 3 4 の中央部 3 4 b において大きな渦度を有する。そのため、気泡 4 2 に対して、流線が曲げられた向きと反対方向である下向き (離脱方向) に、気泡 4 2 に対して揚力 $L f 1$ が作用する。

【 0 0 5 3 】

そして、こうした離脱方向の力（付加慣性力 A_f 、圧力勾配力 P_{f2} 、揚力 L_{f1} ）により、気泡 4 2 に対して抵抗となる力が小さくなり、気液界面 4 3 からの気泡 4 2 の離脱が促進されるとともに、水中に空気を送り込むためのエネルギーが少なくて済む。

すなわち、翼 3 0 と流水案内体 3 3 とにより離脱促進部としての水路 3 4 が形成され、この水路 3 4 によって、局所的な渦度を有しかつ湾曲した水の流れが形成されることにより、揚力 L_{f1} に加え、圧力勾配力 P_{f2} 、付加慣性力 A_f が作用し、気液界面 4 3 からの気泡 4 2 の離脱が促進され、水に混入される気泡の量が増える。

【 0 0 5 4 】

また、水の流れ 4 0 により、翼 3 0 に対して上向きの揚力が作用するために、例えば船体 1 0 における船首側が上昇し、船体 1 0 の浸水面積が減少し、摩擦抵抗が減少しやすくなる。

【 0 0 5 5 】

負圧形成部 2 0 のストラット 3 1, 3 2 は、水路 3 4 の流路断面積を狭めるとともに、流線を変化させるために、負圧箇所 4 1 が形成される水路 3 4 の中央部 3 4 b において上述した離脱方向の力を増加させるように有利に働く。

【 0 0 5 6 】

負圧箇所 4 1 において発生する気泡 4 2 の量は、その付近の環境条件から定まる飽和蒸気圧に影響を受ける。すなわち、水に溶け込める気体の量よりも多いものが気泡 4 2 として水中に存在することになる。したがって、気液界面 4 3 からの気泡 4 2 の離脱が促進されることにより、気液界面 4 3 の近くに停滞する気泡 4 2 が少なくなり、所望の量の気泡 4 2 が安定して水中に混入され、効果的な摩擦抵抗低減が確実に実施される。

【 0 0 5 7 】

なお、水中に混入された気泡 4 2 は、水深に応じた静水圧よりも低い内圧で形成されるため、一定の水深で気泡 4 2 が移動するとき（例えば船底に沿って気泡が移動するとき）に、負圧箇所 4 1 から離れるに従って気泡 4 2 に大きな水圧が

作用し、徐々に気泡 4 2 の大きさが小さくなる。本出願人らのこれまでの研究によれば、比較的小さい気泡のほうが船体の摩擦抵抗を低減するのに好ましいとされている。したがって、負圧によって発生した気泡は、この点からも摩擦抵抗の低減に有利に働く。

【 0 0 5 8 】

図 7 は、本発明に係る摩擦抵抗低減船の他の実施形態を示している。

この摩擦抵抗低減船 M 2 は、上述した実施形態と異なり、気泡発生装置における負圧形成部が上下方向に移動するように構成されている。

【 0 0 5 9 】

気泡発生装置 5 0 は、船体に固定状態に敷設される外筒 5 1 と、該外筒 5 1 内に着脱自在に、かつ軸方向（上下方向）に移動自在に收容される気体導入管（A I P）としての内筒 5 2 と、外筒 5 1 に対する内筒 5 2 の軸方向の位置（高さ）を調節するための位置調節部 5 3 とを備えている。

【 0 0 6 0 】

内筒 5 2 は、一端に設けられた負圧形成部 5 4 を下方に向けた状態で外筒 5 1 の上端部の開口から挿入される。

【 0 0 6 1 】

負圧形成部 5 4 は、図 8 に示すように、管状部材 6 0 の端部を塞ぐように配設される板状部材 6 1 と、この板状部材 6 1 に対して所定の間隔で略平行に配される翼 6 2 と、翼 6 2 を支持するストラット 6 3, 6 4 と、前記板状部材 6 1 に設けられた排出口としての開口 6 5 を管状部材 6 0 の内側から覆うように配設される湾曲板 6 6 とを備えている。

【 0 0 6 2 】

これらにより、負圧形成部 2 0 には、船体の進行方向に沿って、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した離脱促進部としての水路 6 7 が形成される。

【 0 0 6 3 】

また、流体通路 6 8 として、内筒 5 2 の内部空間は、湾曲板 6 6 と板状部材 6 1 との間隙 6 9 と前記排出口 6 5 とを介して下方に開放される。

【 0 0 6 4 】

図 7 に戻り、位置調節部 5 3 は、航行状態に応じて、負圧形成部 5 4 の船底からの突出状態（突出高さ）を調節するためのものであり、内筒 5 2 を所定の位置に移動させるためのモータ等の図示しない駆動部、所定の位置に内筒 5 2 を固定するための図示しない固定部、等を含んで構成されている。

【 0 0 6 5 】

こうした構成の気泡発生装置 5 0 を備える摩擦抵抗低減船 M 2 は、航行状態に応じて位置調節部 5 3 により負圧形成部 5 4 の突出高さを変化させ、これにより負圧形成部 5 4 による抗力の増加を適切に抑制するとともに、負圧形成部 5 4 の近傍の水の流れを所望の状態に調節する。

【 0 0 6 6 】

例えば気泡による摩擦抵抗の低減効果が小さい停船中や低速航行時には、図 9 (a) に示すように、負圧形成部 5 4 を船体の内側（没水表面の内側）に配することにより、負圧形成部 5 4 による抗力の増加を抑制する。

【 0 0 6 7 】

一方、所定の船速での航行時には、図 9 (b) 及び (c) に示すように、負圧形成部 5 4 を船底から水中に（下方に）突出させ、水中に気泡 7 0 を発生させて船体の摩擦抵抗を低減する。

【 0 0 6 8 】

負圧形成部 5 4 の突出高さが変化すると、負圧形成部 5 4 の水路 6 7 に流入する時間あたりの水量が変化し、水路 6 7 における水の流速が変化する。これにより、負圧箇所 7 1 の状態（静水圧など）や気液界面からの離脱方向の力の大きさが変化し、水に混入される気泡 7 0 の量が変わる。

【 0 0 6 9 】

すなわち、負圧形成部 5 4 の突出高さを変化させることにより、負圧箇所 7 1 の圧力や負圧箇所 7 1 近傍の水の流れ 7 2 を制御し、気泡 7 0 の発生量を調節する。そして、船速に応じた適切な量の気泡 7 0 により摩擦抵抗低減が効果的に実施される。

【 0 0 7 0 】

さらに、気泡発生装置 5 0 は、メンテナンス時において、内筒 5 2 を外筒 5 1

から取り外し、清掃設備の整った環境のもとで内筒 5 2 の清掃を行うとともに、外筒 5 1 の内壁面の清掃を行う。そのため、気泡発生装置 5 0 のメンテナンスに伴う手間が少ない。

【 0 0 7 1 】

なお、上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。例えば下記のような変更も含まれる。

【 0 0 7 2 】

上述した実施形態では、負圧形成部 2 0 は、負圧箇所を水中に形成するとともに、離脱方向の力を発生させる水の流れを形成するという 2 つの機能を有し、少ないスペースで効率的に気泡を水に混入させることができるという利点がある。しかしながら、負圧箇所を形成する機能（負圧形成部）と離脱を促進させる水の流れを形成する機能（離脱促進部）とを別々の手段に分けてもよい。機能別に手段を分けることにより、水中に混入される気泡の量が制御しやすくなる。

【 0 0 7 3 】

また、負圧形成部の翼の形状は、水中に対する抗力の増加をなるべく抑制するように設計される。したがって、上述した実施形態で示した翼は、翼面の平面形状が矩形のものに限らず、例えば三角形の翼面など、他の形状でもよい。

【 0 0 7 4 】

また、上述した実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船など他の船にも適用可能である。なお、負圧形成部の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。

【 0 0 7 5 】

【発明の効果】

以上説明したように、この発明によれば以下の効果を得ることができる。

請求項 1 に係る船体の摩擦抵抗低減方法によれば、水中に負圧箇所を形成することにより、圧力勾配力を利用して、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、摩擦抵抗低減を行うことができる。また、局所

的に渦度が大きい水の流れを形成することにより、揚力を利用して、境界面からの気泡の離脱を促進させ、水に混入される気泡の量を増やすことができる。したがって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。

請求項 2 から請求項 4 に係る摩擦抵抗低減船によれば、負圧形成部を備えることにより、水中に負圧箇所を形成し、圧力勾配力を利用して、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、摩擦抵抗低減を行うことができる。また、離脱促進部により形成される水の流れにより、揚力を利用して、境界面からの気泡の離脱を促進させ、水に混入される気泡の量を増やすことができる。したがって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。さらに、気体を加圧する装置が不要となり、船体の建造コストを容易に低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】 本発明に係る船体の摩擦抵抗低減方法の一例を示す概念図である。

【図 2】 水中に気泡を発生させる方法の一例を示す概念図である。

【図 3】 船底における気泡に作用する力を示す模式図である。

【図 4】 曲面に沿って水と気泡とが流れる様子を示す模式図である。

【図 5】 本発明に係る船体の摩擦抵抗低減方法を船舶に適用した一実施形態を概略的に示す構成図である。

【図 6】 図 1 に示す負圧形成部の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 7】 本発明に係る船体の摩擦抵抗低減方法を船舶に適用した他の実施形態を概略的に示す構成図である。

【図 8】 図 7 に示す負圧形成部の構成を概略的に示す斜視図である。

【図 9】 図 7 に示す負圧形成部の配置位置と水の流れとの関係を示す状態図である。

【符号の説明】

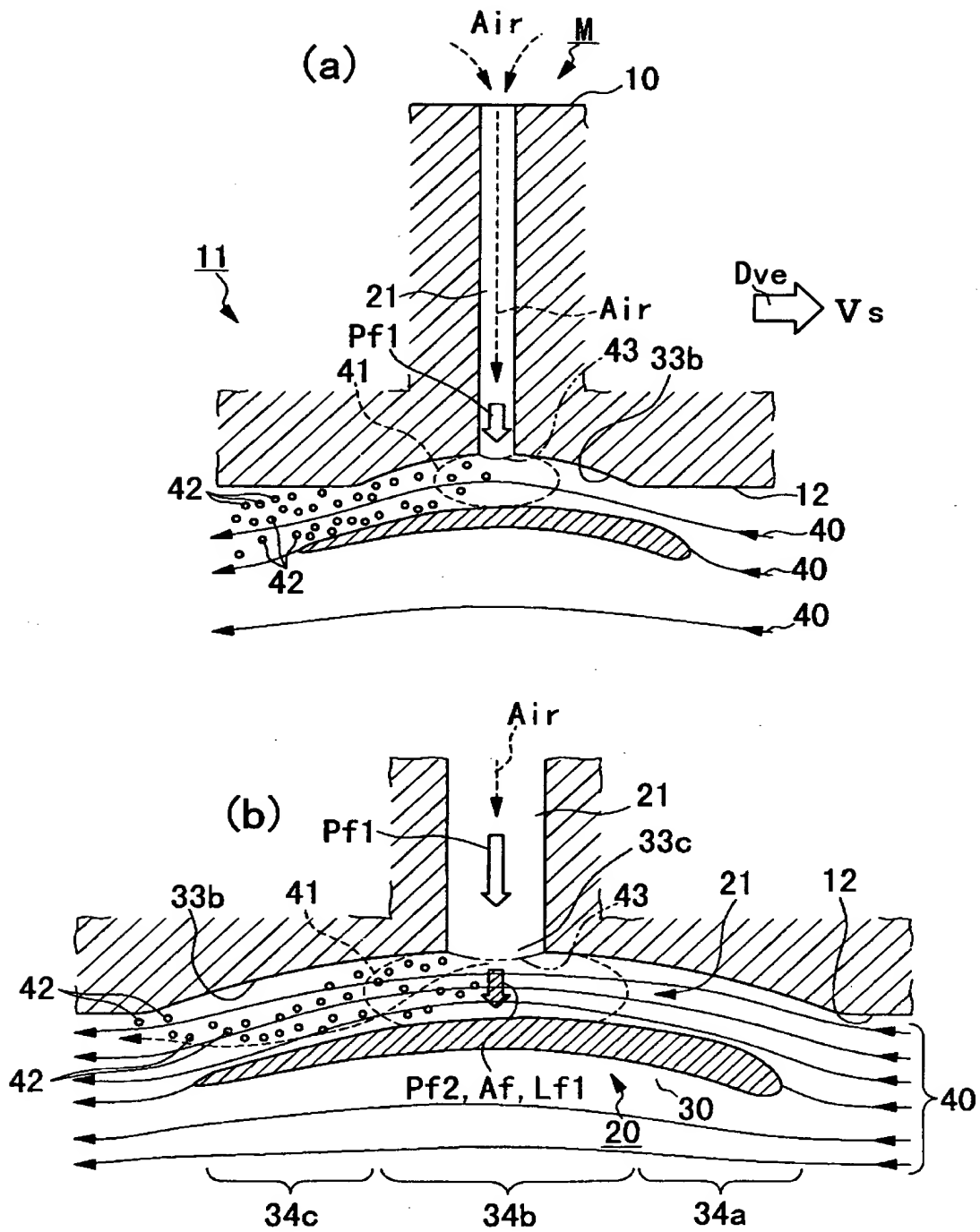
M, M 2 摩擦抵抗低減船

1, 1 0 船体

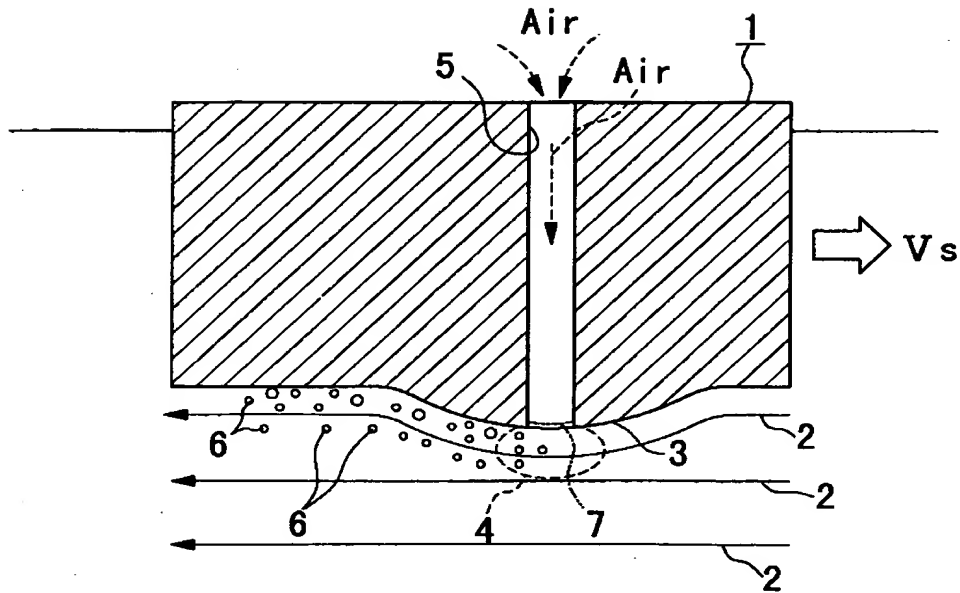
- 2, 4 0 水の流れ
- 3, 2 0, 5 4 負圧形成部
- 4, 4 1 負圧箇所
- 5, 2 1 流体通路
- 7, 4 3 気液界面 (境界面)
- 1 1, 5 0 気泡発生装置
- 1 2 船体外板 (没水表面)
- 1 5 水面 (喫水線)
- 3 0 翼
- 3 1, 3 2 ストラット
- 3 3 流水案内体
- 3 3 b 湾曲面
- 3 3 c 排出口
- 3 4, 6 7 水路 (離脱促進部)
- 3 5 気体導入管
- 3 7 空気取入れ口
- 4 2 気泡
- 5 1 外筒
- 5 2 内筒
- 5 3 位置調節部

【書類名】 図面

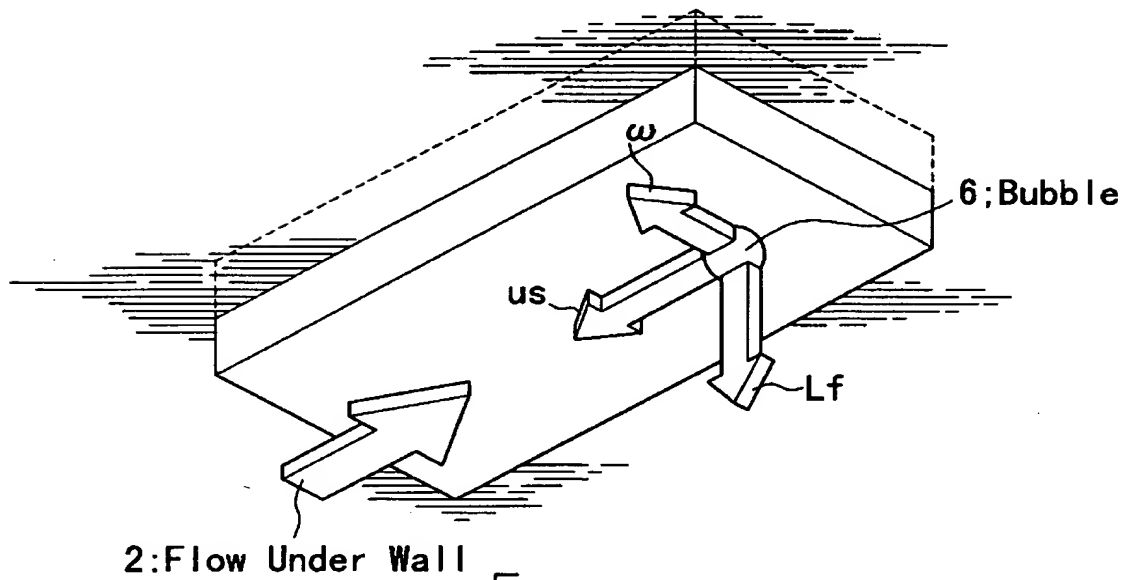
【図1】



【図 2】

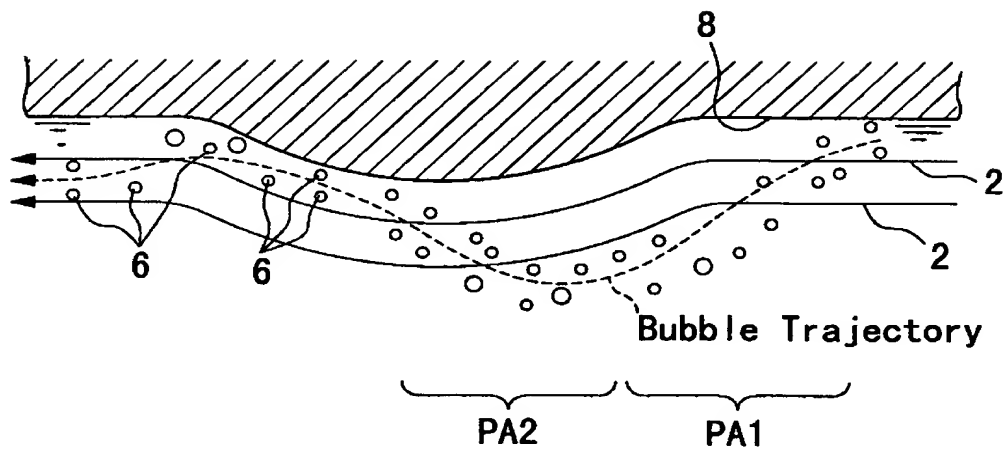


【図 3】

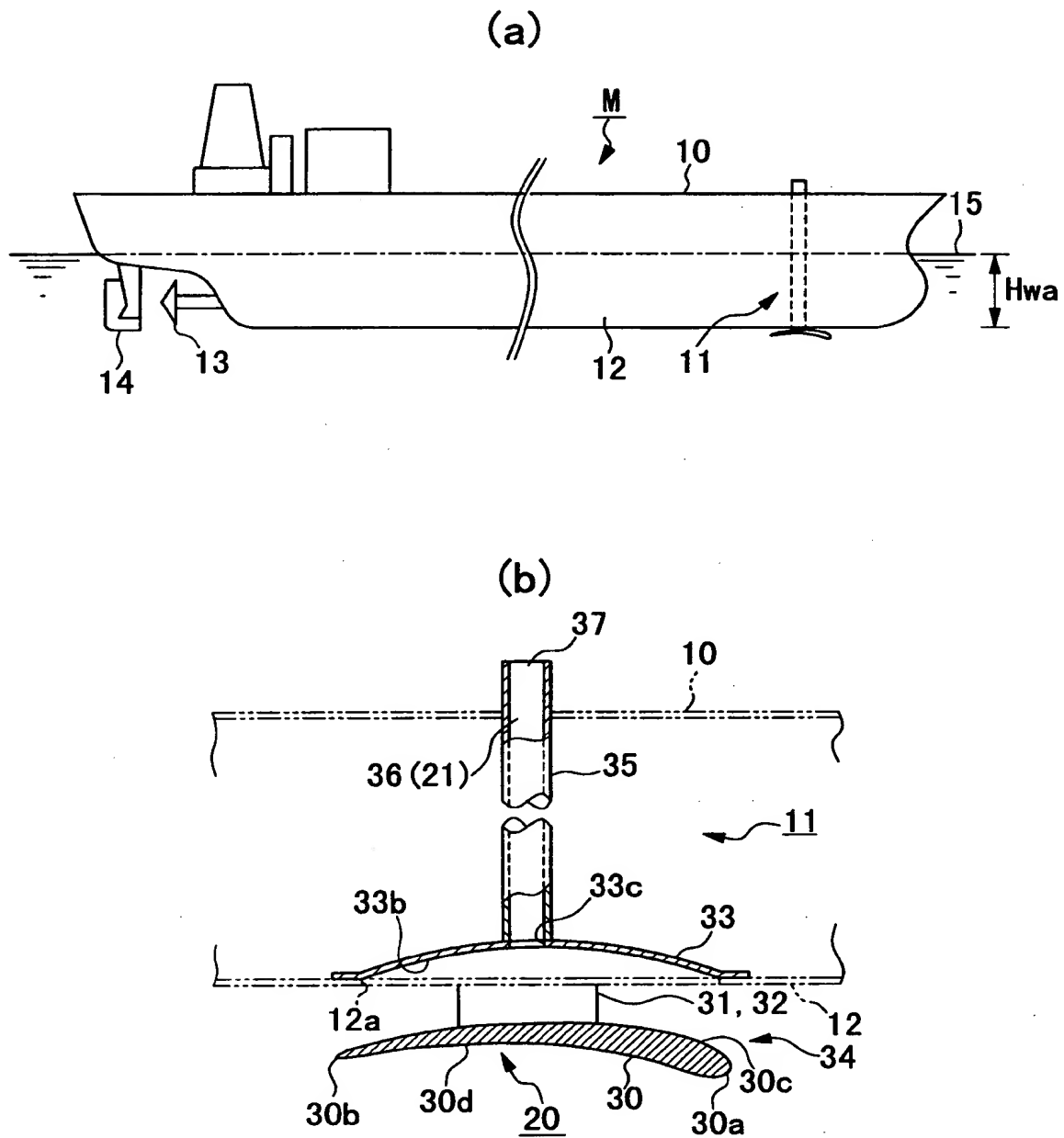


L_f ; Lift Force
 ω ; Velocity Vector of Liquid
 u_s ; Relative Velocity Vector

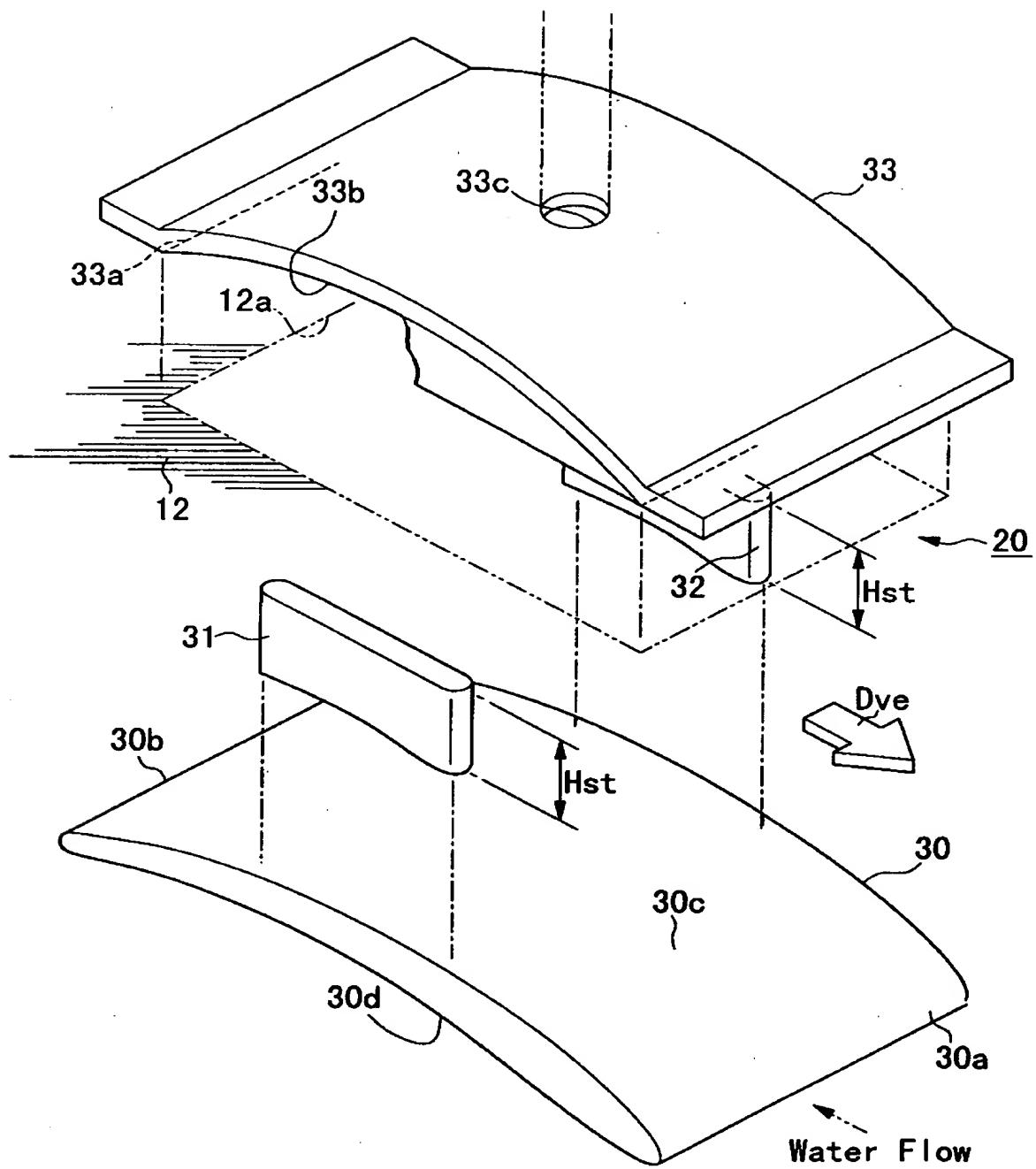
【図4】



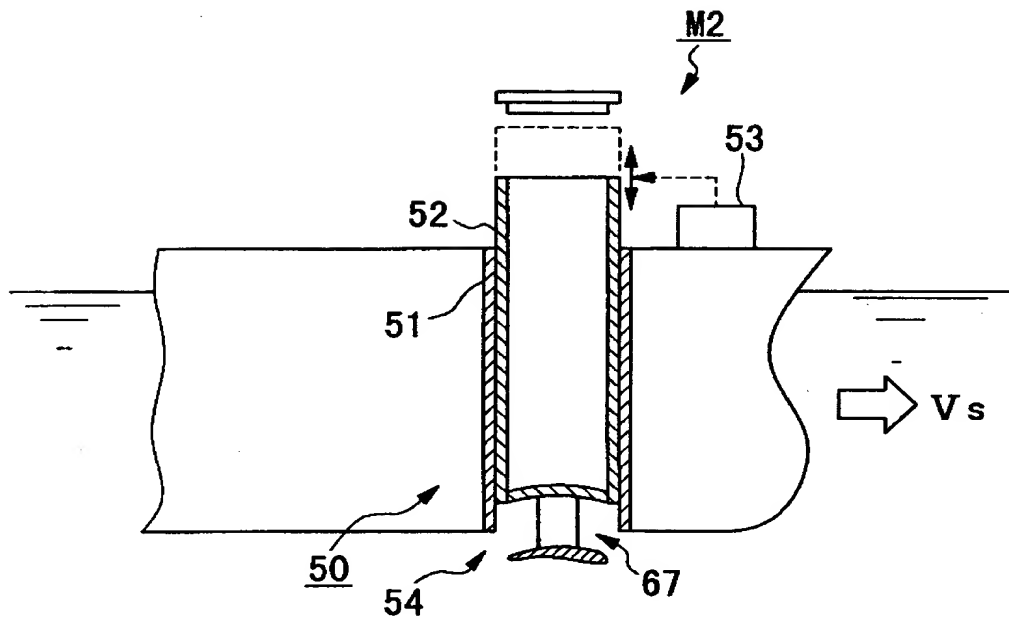
【図 5】



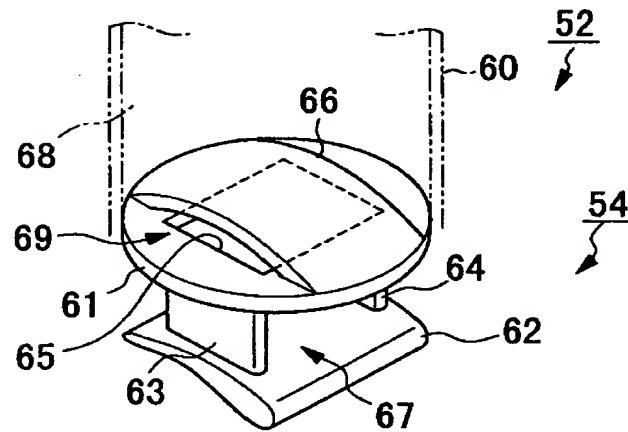
【図 6】



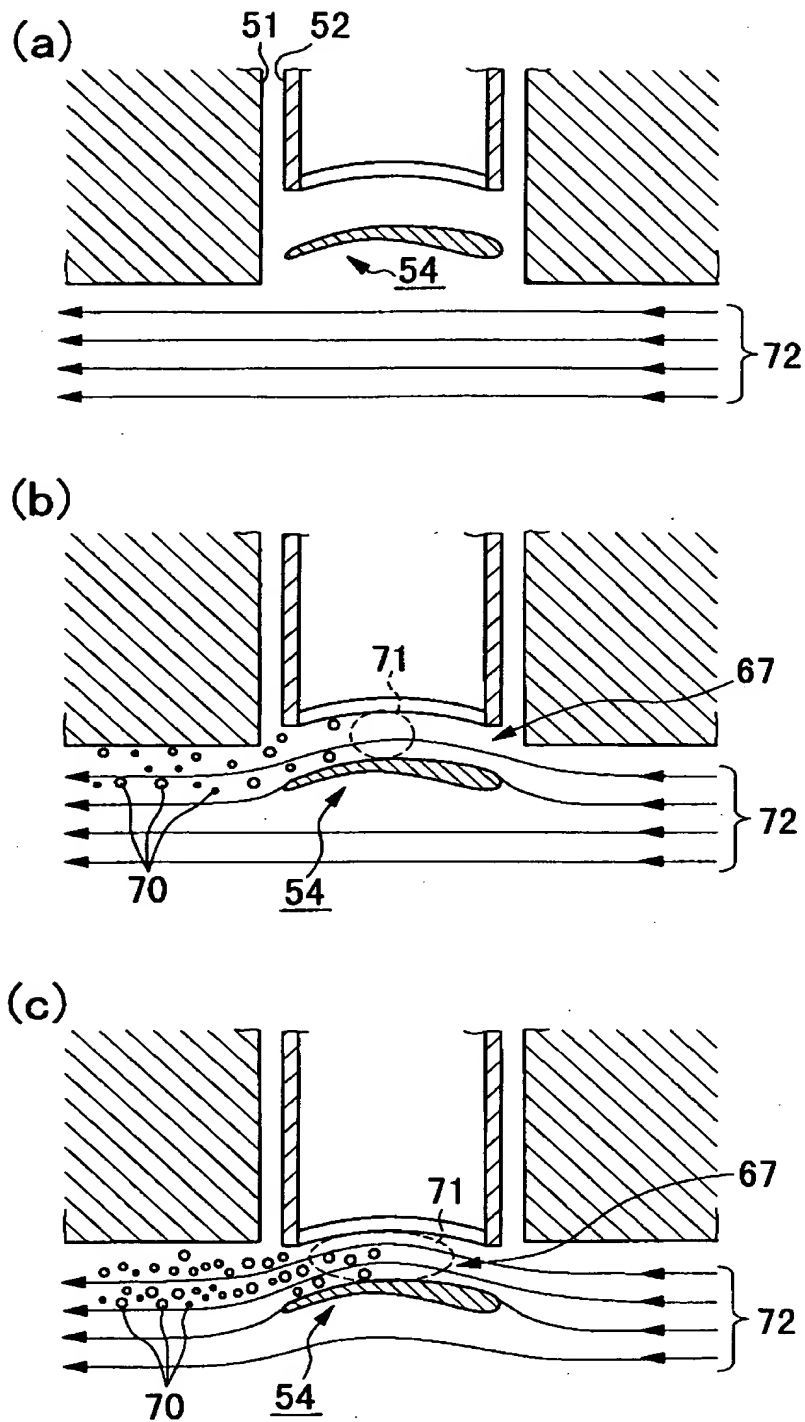
【図 7】



【図 8】



【図9】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 少ないエネルギー消費で摩擦抵抗低減を行って、航行時のエネルギー消費を効果的に節減することができる船体の摩擦抵抗低減方法及び摩擦抵抗低減船を提供する。

【解決手段】 船体 1 0 の没水表面 1 2 に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する方法であって、船体 1 0 の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所 4 1 を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所 4 1 に気体を導くとともに、局所的に渦度が大きい水の流れ 4 0 を形成する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0000000099]

1. 変更年月日 1990年 8月 7日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区大手町2丁目2番1号
氏 名 石川島播磨重工業株式会社